

Циклопалладирование бензил- и α -метилбензилиминов камфоры

Гурьева Я.А.,* Залевская О.А., Фролова Л.Л. Алексеев И.Н., Кучин А.В.

Институт химии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул.Первомайская 48, Сыктывкар. Факс: 88212 218477; тел: 88212 219947; E-mail: gurjeva-ja@chemi.komisc.ru

Изучено взаимодействие (1S,4S)-2-(бензилимино)-1,7,7-триметилбицикло[2.2.1] гептана (HL^1) и (1S,4S)-2-((1S)- α -метилбензилимино)-1,7,7-триметилбицикло[2.2.1] гептана (HL^2) с тетрахлоропалладатом лития и ацетатом палладия. Получены новые хиральные комплексы палладия различного типа, строение которых подтверждено методами ЯМР- и ИК-спектроскопии, данными элементного анализа.

Введение

Хиральные комплексы палладия различного типа находят широкое применение в современном асимметрическом синтезе для определения энантиомерного избытка и конфигурации хиральных соединений^{1,2}, в качестве катализаторов³ и расщепляющих агентов⁴. Поиск новых хиральных лигандов, синтетическая доступность которых ограничена, продолжает оставаться важной проблемой. Имины на основе энантиомерно чистой камфоры представляют интерес как хиральные вспомогательные соединения, как компоненты каталитических систем^{5,6,7} и лиганды в синтезе комплексов переходных металлов, в том числе и палладия⁸.

Результаты и обсуждение

В настоящей работе для синтеза хиральных иминов мы использовали в качестве исходной матрицы природный бициклический монотерпеноид камфору. Выбор нами камфоры как хирального стартового реагента обусловлен: доступностью природного сырья ((+)-камфору выделяют из камфорного лавра (*Cinnamomum camphora*), (-)-камфору получают из хвойного масла сибирской пихты (*Picea sibirica*)); в синтетических схемах камфора имеет определённые преимущества, т.к. наличие в ее структуре карбонильной группы существенно расширяет круг возможных химических трансформаций.

Имины HL^1 и HL^2 были синтезированы путем конденсации (-)-(1S,4S)-камфоры, бензиламина и (-)-(S)- α -метилбензиламина с выходами 60 и 42% соответственно (схема 1).

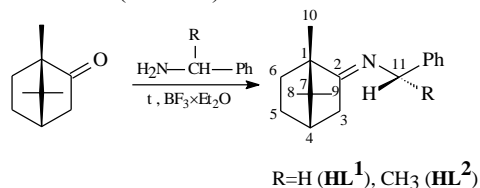


Схема 1

В литературе⁹ описан синтез α -метилбензилимина HL^2 . Нам удалось сократить время реакции в 5 раз, используя в качестве катализатора эфират трехфтористого бора.

Лиганды HL^1 и HL^2 , содержащие в своем составе бензиламинный фрагмент, представляют интерес с точки зрения возможности получения орто-палладированных комплексов. В настоящей работе изучено взаимодействие этих лигандов с двумя палладирующими реагентами – тетрахлоропалладатом лития (Li_2PdCl_4) и ацетатом палладия. Циклометаллирование иминов HL^1 и HL^2 возможно как по метильной группе терпенового фрагмента, так и в орто-положение ароматического кольца.

Согласно классическим условиям образования циклопалладированных комплексов, которые предполагают использование основания, мы исследовали взаимодействие иминов HL^1 с тетрахлоропалладатом лития при мольном соотношении реагентов 1 : 1 в присутствии ацетата натрия в качестве основания. Однако, было установлено, что в этих условиях образуется биядерный координационный комплекс **1** с выходом 60 % (схема 2), циклопалладирование не происходит. Этот же комплекс был получен при мольном соотношении реагентов 1:1 без основания.

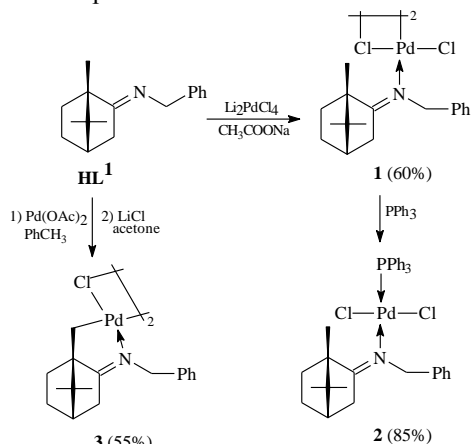


Схема 2

Для подтверждения мостиковой связи и с целью получения моноядерного смешаннолигандного координационного соединения комплекс **1** был обработан дополнительным лигандом – трифенилфосфином. В результате был получен комплекс **2** с выходом 85% (схема 2).

Для успешного циклометаллирования часто используют ацетат палладия как более сильный электрофил по сравнению с тетрахлоропалладатом

лития. При взаимодействии имина **HL**¹ с ацетатом палладия идет циклометаллирование по 10-й метильной группе терпенового фрагмента. Образуется биядерный циклопалладированный комплекс **3** с выходом 55% (схема 2) в результате двухстадийного процесса: на первой стадии идет образование циклопалладированного комплекса с ацетатной мостиковой группой, который затем обрабатывали хлоридом лития, в результате чего формируется хлоридный димер **3**. Этот комплекс был выделен из реакционной смеси методом колоночной хроматографии и дополнительно очищен кристаллизацией из смеси бензол-гексан.

При взаимодействии имина **HL**² с тетрахлоропалладатом лития при молярном соотношении реагентов 1:1 как в присутствии, так и без основания реакция протекает не селективно, образуется биядерный координационный комплекс **4** (в виде осадка желтого цвета) с выходом 30%. Из фильтрата выделен моноядерный координационный комплекс **5** с выходом 50% (схема 3).

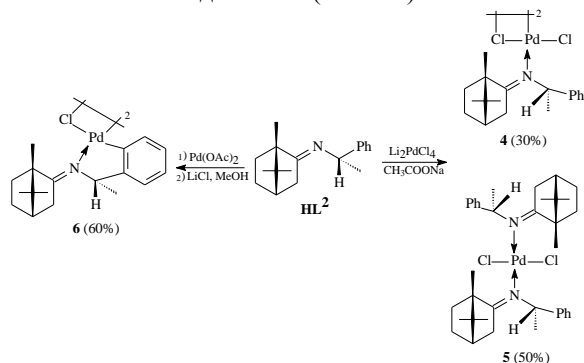


Схема 3

Для подтверждения мостиковой связи в биядерном координационном комплексе **4** последний был обработан дополнительным лигандом – трифенилфосфином. Однако, было установлено, что данный комплекс разрушается с образованием дихлоро(бис-трифенилфосфин)палладия.

Имин **HL**² вступает в реакцию циклометаллирования при взаимодействии с ацетатом палладия и образует биядерный циклопалладированный димер **6** с выходом 60% (схема 3), при этом циклопалладирование идет в *орто*-положение бензольного кольца. Комплекс **6** был выделен из реакционной смеси методом колоночной хроматографии и дополнительно очищен кристаллизацией из смеси бензол-гексан.

Таким образом, в индивидуальном виде выделены биядерные (**HL**¹)₂Pd₂Cl₄ (**1**), (**HL**²)₂Pd₂Cl₄ (**4**), моноядерный (**HL**²)₂PdCl₂ (**5**) координационные комплексы, смешаннолигандный координационный комплекс **HL**¹PdClPPh₃ (**2**) и циклопалладированные димеры PdL¹Cl (**3**), PdL³Cl (**7**), строение которых исследовано и подтверждено с помощью методов ИК- и ЯМР-спектроскопии, состав комплексных соединений – данными элементного анализа.

Экспериментальная часть

ИК-спектры снимали в тонком слое или в таблетках KBr на приборе “IR Prestige 21” фирмы Shimadzu. Спектры ЯМР ¹H и ЯМР ¹³C регистрировали на приборе Bruker AVANCE-II-300, рабочая частота 300 МГц (¹H) и 75 МГц (¹³C) в CDCl₃. В качестве внутреннего стандарта использовали сигналы хлороформа (δ_H 7.27 м.д., δ_C 77.00 м.д.) и диметилсульфоксида (δ_H 2.5 м.д.). Отнесение сигналов выполнено с использованием спектров ЯМР ¹³C, записанных в режиме J-модуляции и по данным двумерных спектров гетероядерной корреляции ¹H-¹H (COSY) и ¹H-¹³C (HSQC). Показатель преломления измерен на приборе ИРФ-454БМ. Оптическое вращение измеряли на автоматическом поляриметре P3002RS фирмы Kruss (Германия). Элементный анализ проводили на элементном анализаторе EA 1110 (CHNSO).

Контроль за ходом реакций осуществляли с помощью ТСХ на пластинках Sorbfil, используя системы растворителей C₆H₁₄-Et₂O, CHCl₃-MeOH-NH₃ (25%) 100:10:1, бензол-ацетон = 5:1. Для обнаружения веществ пластинки обрабатывали парами йода, растворами нингидрина или ванилина с последующим нагреванием до 100-120 °С. Для колоночной хроматографии использовали силикагель (70-230 mesh) фирмы Lancaster. (*S*)-α-метилбензиламин (*ee* 99.5%) фирмы «Lancaster», камфора, перекристаллизованная из этанола: [α]_D = -40.9 (с 1.0; CHCl₃); о. ч. = 92%; хлорид палладия, ацетат палладия использовали без дополнительной очистки.

(1S,4S)-2-(бензилимино)-1,7,7-триметилбисцикло[2.2.1]гептан (**HL**¹).

В абсолютном толуоле (10 мл) растворили (–)-камфору (7 ммоль, 1.07 г) и бензиламин (7.7 ммоль, 0.84 мл). В реакционную смесь добавили эфират трехфтористого бора (2 ммоль, 0.25 мл). Раствор кипятили 24 часа. Контроль за ходом реакции осуществляли с помощью ТСХ (sorbfil; гексан : эфир = 3:1; проявитель - йодная камера, 3%-ный раствор нингидрина в этаноле). Отмечено образование соединения R_f = 0.8. Выделение полученного соединения осуществляли при помощи колоночной хроматографии (силикагель; элюент – смесь гексан : эфир = 10:1). Полученное соединение – бесцветная маслянистая жидкость с душистым запахом; [α]_D²¹ = + 23. 8 (с 0.8; CHCl₃); n_D²² = 1.5330. Масса – 0.82 г; выход – 63%. ИК-спектр, ν, см⁻¹: 1683 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (300 МГц, CDCl₃, δ/м.д., J/Гц): 0.74 с (3H, CH₃-9), 0.92 с (3H, CH₃-8), 0.94 с (3H, CH₃-10), 1.93 д (1H, H_α-3, J_{3α,3β}=17), 1.22-1.84 м (2H, H-6), 2.41 д (1H, H_β-3, J_{3β,3α}= 17), 1.96 дд (1H, H-4, J=4.6, J=5.0), 1.31-1.68 м (2H, H-5), 4.33 д (1H, H_α-11, J_{11α,11β}=15.5), 4.41 д (1H, H_β-11, J_{11β,11α}=15.5), 7.2-7.4 м (5H, H_{аром}). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц, CDCl₃, δ, м.д.): 11.98 (C-10), 19.25 (C-8), 19.81 (C-9), 27.47 (C-6), 32.40 (C-5), 35.70 (C-3), 43.80 (C-4), 47.71 (C-7), 53.87 (C-1), 55.24 (C-11), 126.62 (C-15), 127.90 (C-13), 128.55 (C-14), 141.38 (C-12), 181.78 (C-2).

(1S,4S)-2-((1S)- α -метилбензилимино)-1,7,7-триметилбизикло[2.2.1] гептан (HL²).

В абсолютном толуоле (10 мл) растворили (–)-камфору (7.4 ммоль, 1.12 г) и (–)- α -метилбензиламин (8.1 ммоль, 1.05 мл). В реакционную смесь добавили эфират трехфтористого бора (2.5 ммоль, 0.31 мл). Раствор кипятили 26 часов. Контроль за ходом реакции осуществляли с помощью ТСХ (sorbfil; гексан : эфир = 3:1; проявитель - йодная камера, 3%-ный раствор нингидрина в этаноле). Отмечено образование соединения $R_f = 0.9$. Выделение полученного соединения осуществляли при помощи колоночной хроматографии (силикагель; элюент – смесь гексан : эфир = 20:1). Полученное соединение – бесцветная маслянистая жидкость. Масса – 0.75 г; выход – 42%. $[\alpha]_D^{21} = -28.7$ (с 0.5; CHCl₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1684 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (300 МГц, CDCl₃, δ /м.д., J/Гц): 0.64 с (3H, CH₃-9), 0.95 с (3H, CH₃-10), 1.07 с (3H, CH₃-8), 1.29-1.72 м (2H, H-5), 1.32-1.88 м (2H, H-6), 1.47 д (3H, CH₃-12, J_{12,11}=6.6), 1.96 д (1H, H α -3, J_{3 α ,3 β} =16.8), 2.28 ддд (1H, H β -3, J_{3 β ,3 α} =16.8, J_{3 β ,4}=4.0, J_{3 β ,5}=7.6), 4.48 кв (1H, H-11, J_{11,12}=6.6), 7.22 дд (1H, H-16, J_{16,14}=7.0, J_{16,15}=7.0), 7.32 дд (2H, H-15, J_{15,16}=7.0, J_{15,14}=6.4), 7.39 д (2H, H-14, J_{14,15}=6.4). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц, CDCl₃, δ , м.д.): 11.56 (C-8), 19.09 (C-9), 19.54 (C-10), 24.60 (C-12), 27.59 (C-6), 32.16 (C-5), 35.54 (C-3), 43.94 (C-4), 47.01 (C-7), 53.58 (C-1), 59.65 (C-11), 126.19 (C-16), 126.45 (C-14), 128.11 (C-15), 146.31 (C-13), 180.57 (C-2).

Комплексное соединение (HL¹)₂Pd₂Cl₄ (1).

Суспензию хлорида палладия(II) (0.17 г, 0.9 ммоль) и хлорида лития (0.08 г, 1.9 ммоль) в метаноле (5 мл) кипятили на водяной бане с обратным холодильником в течение часа. Раствор темно-красного цвета тетрахловопалладата лития прилили к раствору имина **1** (0.23 г, 0.9 ммоль) в метаноле (2 мл). Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре один час. Выпадал осадок желтого цвета. Осадок отфильтровывали и промывали небольшим количеством метанола. Дополнительную очистку осуществляли перекристаллизацией из смеси бензол - гексан. В результате было получено комплексное соединение **3** в виде порошка желтого цвета, растворимое в ДМСО, ацетоне. Выход 220 мг, 60%. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1651 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (300 МГц, DMSO, δ /м.д., J/Гц): 0.76 с (3H, CH₃-9), 0.95 с (3H, CH₃-8), 1.18 м (1H, H α -6), 1.76 м (2H, H-5), 1.80 м (1H, H β -6), 1.95 м (1H, H-4), 2.17 с (3H, CH₃-10), 2.20 м (1H, H α -3), 2.72 м (1H, H β -3), 4.80 д (1H, H α -11, J_{11 α ,11 β} =15.5), 4.93 д (1H, H β -11, J_{11 β ,11 α} =15.5), 7.2-7.4 м (3H, H_{14,15}), 7.60 д (2H, H-13, J_{13,14,15}=7.1). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц, DMSO, δ , м.д.): 14.70 (C-10), 19.31 (C-8), 20.14 (C-9), 26.81 (C-6), 31.83 (C-5), 40.83 (C-3), 43.54 (C-4), 49.52 (C-7), 56.97 (C-1), 60.94 (C-11), 128.56 (C-15), 128.94 (C-13), 131.97 (C-14), 136.25 (C-12), 195.38 (C-2).

Найдено, %: C 49.6; H 5.63; N 3.25.

Для C₃₄H₄₄N₂Pd₂Cl₄

вычислено, %: C 48.9; H 5.50; N 3.35.

Комплексное соединение PdL¹Cl (3).

Суспензию имина **1** (0.21 г, 0.9 ммоль) и ацетата палладия (0.2 г, 0.9 ммоль) в 30 мл бензола

нагревали при 60°C в течение 3 часов. Из реакционной смеси в вакууме удалили растворитель, к остатку добавили водно-ацетоновый раствор хлорида лития (0.08 г, 0.18 ммоль). Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре 1.5 часа. Из реакционной смеси темно-красного цвета в вакууме удалили растворитель, остаток растворили в бензоле и очищали хроматографически (сорбент: силикагель, элюент: бензол : ацетон = 10 : 1). После удаления растворителя был получен ярко – красный остаток, содержащий по данным ТСХ (sorbfil, бензол : ацетон = 5 : 1, проявитель йодная камера) продукт с $R_f = 0.9$. Кристаллизацией из системы бензол : гексан было получено комплексное соединение **5** в виде порошка ярко-желтого цвета, растворимое в хлороформе, ацетоне, бензоле, ДМСО. Выход 200 мг, 55%. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1668 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (300 МГц, DMSO, δ /м.д., J/Гц): 0.77 с (3H, CH₃-9), 0.83 с (3H, CH₃-8), 1.30 м (1H, H α -6), 1.55 д (1H, H α -10, J_{10 α ,10 β} =9.9), 1.83 м (1H, H β -6), 1.90 м (2H, H-5), 1.95 м (1H, H α -3), 2.18 м (1H, H-4), 2.38 м (1H, H β -3), 2.59 д (1H, H β -10, J_{10 β ,10 α} =9.9), 4.48 д (1H, H α -11, J_{11 α ,11 β} =13.4), 4.79 д (1H, H β -11, J_{11 β ,11 α} =13.4), 7.28 тр (1H, H-15, J_{15,14}=7.7), 7.38 дд (2H, H-14, J_{14,15}=7.7, J_{14,13}=7.2), 7.48 д (2H, H-13, J_{13,14}=7.2). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц, DMSO, δ , м.д.): 18.29 (C-9), 19.95 (C-8), 26.53 (C-6), 26.68 (C-7), 30.15 (C-10), 33.05 (C-5), 35.59 (C-3), 47.10 (C-1), 48.27 (C-4), 55.21 (C-11), 127.50 (C-15), 128.42 (C-13), 128.79 (C-14), 138.10 (C-12), 211.83 (C-2).

Найдено, %: C 52.1; H 5.68; N 3.46.

Для C₃₄H₄₄N₂Pd₂Cl₂

вычислено, %: C 53.4; H 5.76; N 3.66.

Комплексное соединение HL¹PdCl₂PPh₃ (2).

К суспензии комплексного соединения **4** (0.08 г, 0.092 ммоль) в толуоле (15 мл) был добавлен трифенилфосфин (0.05 г, 0.21 ммоль). Гомогенную реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре 2 часа. Из реакционной смеси оранжевого цвета в вакууме удалили растворитель. К остатку добавили гексан, в результате было получено комплексное соединение **6** в виде ярко-желтого порошка, растворимое в хлороформе, ацетоне. Выход 97 мг, 85%. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1657 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (300 МГц, CDCl₃, δ /м.д., J/Гц): 0.86 с (3H, CH₃-8), 0.98 с (3H, CH₃-9), 1.25 м (2H, H-5), 1.7-2.0 м (2H, H-6), 1.92 м (1H, H-4), 2.07 м (1H, H α -3), 2.19 с (3H, CH₃-10), 2.60 м (1H, H β -3), 4.95 д (1H, H α -11, J_{11 α ,11 β} =15.0), 5.11 д (1H, H β -11, J_{11 β ,11 α} =15.0), 7.2-7.7 м (20H, H_{аром.}). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц, CDCl₃, δ , м.д.): 14.88 (C-10), 19.14 (C-8), 20.19 (C-9), 27.10 (C-6), 31.98 (C-5), 40.33 (C-3), 43.62 (C-4), 49.13 (C-7), 56.66 (C-1), 59.92 (C-11), 127.5-135.5 (12 CH-групп), 192.29 (C-2).

Найдено, %: C 62.0; H 5.52; N 1.9.

Для C₃₅H₃₈NPPdCl₂

вычислено, %: C 61.7; H 5.58; N 2.1.

Комплексные соединения (HL²)₂Pd₂Cl₄ (4) и (HL²)₂PdCl₂ (5).

Суспензию хлорида палладия(II) (0.09 г, 0.5 ммоль) и хлорида лития (0.04 г, 1.0 ммоль) в метаноле (5 мл) кипятили на водяной бане с обратным холодильником в течение часа. Раствор

темно-красного цвета тетрахлооропалладата лития прилили к раствору имина **2** (0.12 г, 0.5 ммоль) в метаноле (2 мл). Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре один час. Выпадал осадок желтого цвета. Осадок отфильтровывали и промывали небольшим количеством метанола. Дополнительную очистку осуществляли перекристаллизацией из смеси бензол - гексан. В результате было получено комплексное соединение **4** в виде порошка ярко-желтого цвета, растворимое в ДМСО, ацетоне. Выход 50 мг, 30%. Из фильтрата кристаллизацией в системе бензол-гексан было получено комплексное соединение **5** в виде кристаллов желтого цвета с выходом 170 мг, 50%. ИК-спектр, ν , см^{-1} : 1626 (C=N). Спектр ЯМР ^1H (300 МГц, DMSO, $\delta/\text{м.д.}$, J/Гц): 0.49 с (3H, CH₃-8), 0.88 с (3H, CH₃-9), 1.17 м (1H, H _{α} -6), 1.70 м (1H, H _{β} -6), 1.72 м (1H, H _{α} -5), 1.78 м (1H, H-4), 1.92 м (1H, H _{β} -5), 2.10 м (1H, H _{α} -3), 2.22 м (1H, H _{β} -3), 2.24 д (3H, CH₃-12, J_{12,11}=6.9), 2.28 с (3H, CH₃-10), 4.80 кв (1H, H-11, J_{11,12}=6.9), 7.27 д (1H, H-16, J_{16,15}=7.3), 7.33 дд (2H, H-15, J_{15,16}=7.3, J_{15,14}=7.5), 7.69 д (2H, H-14, J_{14,15}=7.5). Спектр ЯМР ^{13}C (75 МГц, DMSO, δ , м.д.): 15.37 (C-10), 19.47 (C-9), 19.85 (C-8), 26.56 (C-6), 26.81 (C-12), 31.55 (C-5), 42.18 (C-3), 43.51 (C-4), 50.00 (C-7), 57.54 (C-1), 66.05 (C-11), 127.66 (C-16), 127.95 (C-14), 128.72 (C-15), 143.16 (C-13), 196.47 (C-2).

Найдено, %: C 49.9; H 5.89; N 3.10.

Для C₃₆H₅₀N₂Pd₂Cl₄

вычислено, %: C 49.9; H 5.78; N 3.24.

Комплексное соединение PdL²Cl (**6**).

Суспензию имина **2** (0.21 г., 0.9 ммоль) и ацетата палладия (0.2 г., 0.9 ммоль) в 30 мл толуола нагревали при 60°C в течение 6 часов. Из реакционной смеси в вакууме удалили растворитель, к остатку добавили этанольный раствор хлорида лития (0.19 г., 4.5 ммоль). Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре 3 часа. Из реакционной смеси темно-красного цвета в вакууме удалили растворитель, остаток растворили в бензоле и очищали хроматографически (сорбент: силикагель, элюент: бензол : ацетон = 10 : 1). После удаления растворителя был получен ярко – красный остаток, содержащий по данным ТСХ (sorbfil, бензол : ацетон

= 5 : 1, проявитель йодная камера) продукт с Rf = 0.7. Кристаллизацией из системы бензол : гексан было получено комплексное соединение **7** в виде порошка лимонно-желтого цвета, растворимое в хлороформе, ацетоне, бензоле, ДМСО. Выход 90 мг, 56%. ИК-спектр, ν , см^{-1} : 1653 (C=N). Спектр ЯМР ^1H (300 МГц, CDCl₃, $\delta/\text{м.д.}$, J/Гц): 0.71 с (3H, CH₃-8), 0.98 с (3H, CH₃-9), 1.21 м (1H, H _{α} -6), 1.78 м (1H, H _{α} -5), 1.90 м (1H, H _{β} -5), 1.92 м (1H, H _{β} -6), 1.95 м (1H, H-4), 2.01 м (3H, CH₃-12), 2.05 м (3H, CH₃-10), 2.09 м (1H, H _{α} -3), 2.81 м (1H, H _{β} -3), 4.70 кв (1H, H-11, J_{11,12}=6.0), 6.82 д (1H, H-18, J_{18,17}=7.2), 6.87 дд (1H, H-16, J_{16,15}=7.2, J_{16,17}=7.4), 6.97 дд (1H, H-17, J_{17,18}=7.0, J_{17,16}=7.1), 7.12 д (1H, H-15, J_{15,16}=7.2). Спектр ЯМР ^{13}C (75 МГц, CDCl₃, δ , м.д.): 12.82 (C-10), 19.00 (C-9), 20.13 (C-8), 25.33 (C-12), 27.01 (C-6), 31.28 (C-5), 38.74 (C-3), 43.04 (C-4), 49.57 (C-7), 55.19 (C-1), 72.63 (C-11), 119.64 (C-18), 124.26 (C-17), 124.99 (C-16), 133.64 (C-15), 139.76 (C-13), 152.17 (C-14), 189.15 (C-2).

Найдено, %: C 53.8; H 6.15; N 3.55.

Для C₃₆H₄₈N₂Pd₂Cl₂

вычислено, %: C 54.5; H 6.06; N 3.53.

Библиографический список

- 1 Albert J., Magali Cadena J., Granell J.R., Solans X. // *Tetrahedron Asymmetry* **2000**. V. 11. C. 1943.
- 2 Jiang Q., Ruegger H., Venanzi L. // *Journal of Organometallic Chemistry* **1995**. V.488. P.233.
- 3 Kirsch S.F., Overman L.E. // *Journal American Chemistry Society* **2005**. V. 127. P. 2866.
- 4 Chatterjee S., George M.D., Salem G., Willis A.C. // *Journal Chemistry Society Dalton Trans.* **2001**. V. 41. P.1890.
- 5 Nevalainen M., Nevalainen V. // *Tetrahedron: Asymmetry*. **2001**. V.12. P. 1771.
- 6 Knollmuller M., Ferencic M., Gartner P., Mereiter K., Noe C.R. // *Tetrahedron: Asymmetry*. **1998**. V. 9. P. 4009.
- 7 Knollmuller M., Ferencic M., Gartner P. // *Tetrahedron: Asymmetry*. **1999**. V. 10. P. 3969.
- 8 Carvalho N.N., Costa M.G., Pombeiro J.L., Schier A., Scherer W., Harbi S.K., Verfurth U., Herrmann R. // *Inorganic Chemistry*. 1994. V.33. P. 6270.
- 9 Love B.E., Ren J. // *Journal Organic Chemistry*. 1993. V. 58. P. 5556.